

ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 681.382

Исмаилов Т.А., Мустафаев А.Г., Рамазанова Д.К., Сулин А.Б.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ВЫПРЯМЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ismailov T.A., Mustafaev A.G., Ramazanova D.K., Sulin A.B.

THERMOELECTRIC SEMICONDUCTOR ENERGY CONVERTER TO RECTIFY THE AC VOLTAGE

В работе рассмотрены существующие средства для выпрямления переменного электрического сигнала с присущими им достоинствами и недостатками. Предложена конструкция выпрямителя переменного напряжения, выполненного на базе термоэлектрического преобразователя с использованием возобновляемой солнечной энергии. Осуществлен оценочный расчет данного устройства.

Ключевые слова: переменное и постоянное напряжение, выпрямитель, термоэлектрический преобразователь энергии, воздушный теплоотвод, омическая область, теплообмен.

The paper discusses existing means for rectifying alternating electrical signal with inherent advantages and disadvantages. The proposed design of the AC voltage, made on the basis of the thermoelectric Converter using renewable solar energy. Made a rough calculation of this device.

Key words: AC and DC voltage, rectifier, the thermoelectric energy converter, an air heat sink, the ohmic region, the heat transfer.

Выпрямление переменного электрического сигнала является одним из основных процессов в радиоэлектронике. Данное обстоятельство связано с удобством генерации, трансформирования и передачи переменного электрического тока при одновременном существовании целого ряда электронной аппаратуры, работающей на энергии постоянного тока. Поэтому поиск путей преобразования переменного электрического сигнала в постоянный наиболее эффективным способом и по сей день остается актуальным и практически значимым.

В настоящее время существует большое разнообразие технических средств для выпрямления переменных электрических сигналов. К ним от-

носятся механические, электровакуумные, полупроводниковые и др. устройства, отличающиеся определенными достоинствами и недостатками [1]. Так механические синхронные выпрямители с щёточноколлекторным коммутатором и контактным переключателем тока просты в исполнении, но имеют достаточно высокие пульсации на выходе, характеризуются значительными габаритными размерами и низким КПД. Электровакуумные выпрямители наряду с высокими параметрами времени нарастания выходного напряжения, влияющими на качество его преобразования, требуют наличия источника питания подогревателя для создания накала лампы, а также применения для сглаживания сигнала конденсаторов с максимальной емкостью, относительно дороги. Полупроводниковые выпрямители [2] характеризуются малым весом и размерами, дешевы в случае их массового производства, обладают высоким ресурсом работы, механически прочны, но вместе с тем, имеют сложный технологический цикл изготовления с использованием дорогостоящего оборудования и оснастки, их характеристики сильно зависят от температуры, а также действия радиоактивного излучения, параметры отдельно взятых преобразователей данного типа имеют достаточно сильный разброс.

Таким образом, несмотря на то, что в настоящее время накоплен большой теоретический и практический ресурс проектирования выпрямителей переменного напряжения, все еще открыт вопрос повышения эффективности и надежности, упрощения конструкции и уменьшения стоимости соответствующих технических средств получения постоянного электрического сигнала из переменного.

В этих условиях в лаборатории термоэлектричества Дагестанского государственного технического университета разработана конструкция выпрямителя переменного напряжения, выполненного на базе термоэлектрического преобразователя энергии, отличающаяся возможностью использования для усиления выпрямленного сигнала возобновляемой энергии солнечного излучения.

В качестве ближайшего аналога изучен прибор, описанный в [3]. В нем генератор переменного напряжения подключается к омическим контактам резистивной области, в которой при прохождении переменного тока выделяется тепловая энергия. Теплота распространяется через тонкую изолирующую область в термоэлектрическую область, в которой устанавливается некоторое стационарное распределение температур, в результате чего появляется термо-э.д.с.

Недостатком данного устройства является низкая величина получаемого постоянного напряжения по сравнению с действующим значением переменного напряжения. Это связано со значительными потерями при преобразовании энергии переменного электрического тока в теплоту за счет эффекта Джоуля-Ленца и при преобразовании тепловой энергии в энергию постоянного тока за счет эффекта Зеебека.

Конструкция разработанного прибора позволяет устранить данный недостаток.

Схематически прибор изображен на рисунке 1. Устройство состоит из омической области 1, к которой через изолирующую область 2 присоединяется с обеспечением хорошего теплового контакта термоэлектрическая структура (термоэлектрический преобразователь) 3. На определенном расстоянии от поверхности омической области 1 расположен солнечный концентратор 4, закрепленный на держателе 5. Расстояние между омической областью 1 и солнечным концентратором 4 соответствует фокусному расстоянию линз, входящих в состав солнечного концентратора. Поверхность термоэлектрической структуры 3, противоположная контактирующей с омической областью 1, сопряжена с воздушным радиатором 6.

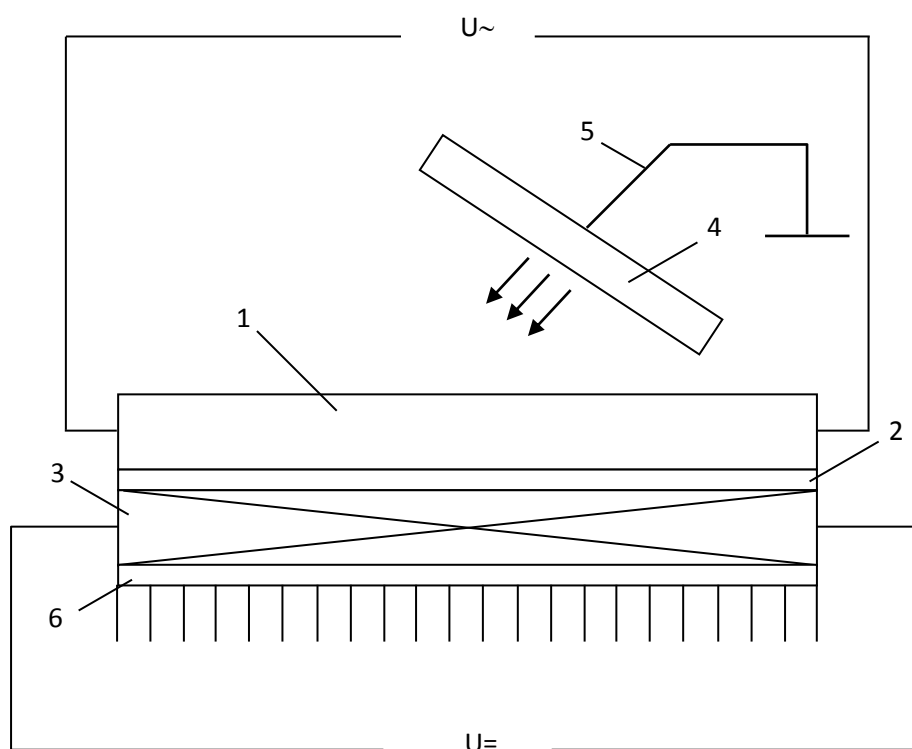


Рисунок 1 – Конструкция термоэлектрического выпрямителя переменного напряжения

При работе устройства от генератора переменного напряжения $U\sim$ сигнал поступает в омическую область 1, где за счет эффекта Джоуля-Ленца выделяется теплота. Одновременно омическая область 1 подвергается воздействию солнечных лучей, проходящих через солнечный концентратор 4, следствием которого является ее дополнительный нагрев. Теплота распространяется через изолирующую область 2 к нагреваемым спаям термоэлектрической структуры 3, в которой устанавливается некоторое стационарное распределение температур, в результате чего, появляется термо-э.д.с. Поскольку структура обладает достаточной теплоемкостью и, следовательно, инерционностью, распределение температур в термоэлек-

трической области в течение периода переменного напряжения не изменяется и с контактов снимается постоянное напряжение при малой амплитуде пульсаций на выходе. Величина постоянного напряжения повышается за счет дополнительного нагрева омической области 1 солнечным излучением, фокусируемым на ней солнечным концентратором 4. Воздушный радиатор 6 применяется для отвода теплоты от холодных спаев термоэлектрической структуры 3, тем самым увеличивая разность температур между ее спаями и, соответственно, величину постоянного напряжения на ее контактах.

Для проведения оценочных расчетов предложенной к рассмотрению конструкции необходимо рассмотреть уравнения теплового баланса на горячих и холодных спаях термоэлектрического преобразователя, которые в общем случае могут быть выражены соотношением:

$$Q_{дж} + Q_{си} + Q_{ср1} + Q_{\lambda} = 0 \quad \text{для горячего спая,} \quad (1)$$

$$Q_{во} + Q_{ср2} + Q_{\lambda} = 0 \quad \text{для холодного спая,} \quad (2)$$

где $Q_{дж}$ - количество теплоты, выделяемой в единицу времени на омической области при протекании через нее переменного электрического тока, $Q_{си}$ - количество теплоты, поступающей в единицу времени на омическую область за счет солнечного излучения, $Q_{ср1}$ - количество теплоты, поступающей в единицу времени на омическую область из окружающей среды за счет конвективного теплообмена, Q_{λ} - количество теплоты, поступающей на горячие (холодные) спаи термоэлектрического преобразователя энергии в единицу времени от его холодных (горячих) спаев за счет теплопроводности, $Q_{во}$ - количество теплоты, отводимой в единицу времени с холодных спаев термоэлектрического преобразователя энергии системой воздушного теплоотвода, $Q_{ср1}$ - количество теплоты, поступающей в единицу времени на холодные спаи термоэлектрического преобразователя энергии из окружающей среды за счет конвективного теплообмена.

Откуда может быть найдена величина термо-э.д.с. из выражения:

$$E_{тэп} = n(\alpha_p + \alpha_n)\alpha\Delta T, \quad (3)$$

где α_p и α_n - абсолютные величины коэффициентов термо-э.д.с. ветвей p - и n - типов термоэлектрического преобразователя энергии соответственно, ΔT - перепад температур между горячими и холодными спаями термоэлектрического преобразователя энергии, n - количество термоэлементов в термоэлектрическом преобразователе энергии.

При замыкании термоэлектрического преобразователя на нагрузку R под действием термо-э.д.с. по образовавшейся замкнутой цепи потечет электрический ток I , согласно закону Ома определяемый соотношением:

$$I = \frac{E_{\text{тЭП}}}{(1+M)r_{\text{тЭ}}}, \quad (4)$$

а рабочее напряжение на нагрузке

$$U = \frac{M}{1+M} E_{\text{тЭП}}. \quad (5)$$

Из данного соотношения может быть определена полезная электрическая мощность, вырабатываемая термоэлектрическим преобразователем энергии:

$$W_{\text{тЭП}} = UI = \frac{M}{(1+M)^2} \frac{E_{\text{тЭП}}^2}{r_{\text{тЭ}}} = \frac{M}{(1+M)^2} \frac{(\alpha_p + \alpha_n)^2 \Delta T^2}{\left(\rho_p \frac{\ell}{S_p} + \rho_n \frac{\ell}{S_n} \right) (1+m)}. \quad (6)$$

Здесь $r_{\text{тЭ}} = r_p + r_n + r_k$ - сопротивление термоэлемента, r_p и r_n - сопротивления ветвей p - и n - типов соответственно, r_k - сопротивление коммутационных элементов, $M = \frac{R}{r_{\text{тЭ}}}$, $m = \frac{r_k}{r_p + r_n}$, $r_{\text{тЭ}} = \left(\rho_p \frac{\ell}{S_p} + \rho_n \frac{\ell}{S_n} \right) (1+m)$, ρ_p и ρ_n - удельные сопротивления ветвей термоэлемента соответственно p - и n -типов; ℓ - длина ветвей; S_p и S_n - площади поперечных сечений ветвей соответственно p - и n -типов.

Если рассматривать случай, когда для концентрации солнечной энергии на омической области не используется никакой системы концентраторов (используя оценку сверху) и принимая за основу стандартное значение интегральной поверхностной плотности солнечного излучения в дневное время [5] $E_{\text{СИ}} = 835 \text{ Вт/м}^2$, можно сделать вывод, что при значениях прикладываемого переменного напряжения в пределах 200-220 В и сопротивлении омической области порядка сотен Ом вклад составляющей $Q_{\text{СИ}}$ в общее значение теплоты на горячих спаях термоэлектрического преобразователя составит порядка 50 %.

Данное обстоятельство позволяет говорить о несомненных преимуществах предлагаемой конструкции по сравнению с аналогом. Дальнейшее увеличение эффективности рассмотренного выпрямителя переменного напряжения можно осуществить за счет использования специальных солнечных концентраторов, а также систем теплоотвода, выполненных на основе принудительного воздушного, жидкостного и испарительного методов охлаждения. Указанным направлениям будут посвящены дальнейшие

исследования предложенного метода выпрямления переменного напряжения авторским коллективом настоящей статьи.

Библиографический список:

1. Костиков В.Г. Парфенов Е.М. Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование. М.: Горячая линия - Телеком. - 2001.
2. Джонс М.Х., Электроника - практический курс. Москва: Техносфера. - 2006.
3. Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника: Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника. М.: Высшая школа. - 1987.
4. Патент РФ на изобретение № 2525171 Выпрямитель переменного напряжения // Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., опубл. 10.08.2014, Бюл. №22.
5. Рубан С.С. Нетрадиционные источники энергии. М.: Энергия. - 2003.
6. Исмаилов Т.А, Сулин А.Б., Челушкина Т.А.//Математическое моделирование теплофизических процессов в термоэлектрических полупроводниковых устройствах с импульсным питанием// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Махачкала № 28 (1) 2013, 17 с.